

3 Computação de Volumes de Gás Natural

3.1. Condições Para a Computação de Volumes de Gás Natural

A norma API 21.1 apresenta diversos aspectos relacionados à computação de volumes obtidos a partir da integração, ao longo de intervalos de tempo determinados, da vazão medida em pontos dotados de medidores que operam pelo princípio de pressão diferencial ou pelos chamados medidores lineares. São assim denominados por gerarem sinais eletro-eletrônicos, geralmente pulsos, que representam vazões em condições de operação (API, 1993).

Os dispositivos que implementam as orientações da API 21.1 podem ter carácter analógico ou eletrônico. Estes últimos são denominados computadores de vazão, dispositivos capazes, em geral, de computar e armazenar volumes, registrar históricos de produção, gerar relatórios, entre outras funcionalidades. Há uma miríade de fabricantes no mercado mundial que oferecem as mais variadas opções de modelos especificamente voltados para as indústrias de óleo & gás.

3.1.1. Fator de Compressibilidade

Uma característica termodinâmica de grande importância para a computação de volumes de gases é a compressibilidade. Mantida a temperatura, se submetidos a variações de pressão, os volumes variarão de modo inverso. Incrementos na pressão acarretarão reduções de volume, e vice-versa. O comportamento de um gás, ou mistura de gases, sob diferentes condições de pressão e temperatura é traduzido por equações de estado. O parâmetro que "carrega" as características resultantes das variações de volume de um gás, ou mistura de gases, é o fator de compressibilidade.

O gás natural é uma mistura de diversos componentes, e varia em termos de composição conforme as condições de temperatura e pressão, origem e processamento. As equações de estado, ferramentas utilizadas para determinar

características termodinâmicas como o fator de compressibilidade (denominado Z), apresentam a necessidade de analisar interações entre os componentes da mistura quanto a pressões parciais para determinar qual o fator da mistura. Isto pode significar, dependendo da equação de estado escolhida, um maior ou menor esforço computacional para obter Z em diferentes condições.

Diversas equações de estado permitem o cálculo do fator Z . Uma equação largamente utilizada em diversas aplicações que envolvam (não só) o fator de compressibilidade é a proposta por Peng e Robinson (Kunz & Wagner, 2012), publicada em 1976. Em 1985, a AGA emitiu seu Relatório nº8, em que propunha uma equação de estado para Z e outras propriedades de misturas de gás natural. Em sua segunda edição, em 1992, estabelecia uma revisão que ampliava os limites da norma original: faixa de temperatura de 143 a 673 K (aproximadamente de -130 °C a 400 °C), pressões de até 280 MPa e até 21 componentes (AGA, 1992). A norma é amplamente utilizada para o cálculo do fator de compressibilidade em computadores de vazão na indústria de óleo e gás.

De modo a permitir que o computador de vazão calcule o fator de compressibilidade e outras propriedades, a composição do gás deve ser inserida no mesmo. Os dados inseridos são os de fração em mol em termos percentuais. A tabela 1 apresenta um exemplo de composição.

Tabela 1 - Exemplo de composição de gases utilizada pela norma AGA8

Componente	% Fração em mol	Componente	% Fração em mol
Metano (CH ₄)	92,55	Nonanos (C ₉ H ₂₀)	0,04
Etano (C ₂ H ₆)	2,57	Decanos (C ₁₀ H ₂₂)	0,05
Propano (C ₃ H ₈)	1,61	Nitrogênio (N ₂)	0,05
Isobutano (C ₄ H ₁₀)	0,3	Dióxido de Carbono (CO ₂)	1,15
N-Butano (C ₄ H ₁₀)	0,72	Oxigênio (O ₂)	0
Isopentano (C ₅ H ₁₂)	0,18	Hidrogênio (H ₂)	0
N-Pentano (C ₅ H ₁₂)	0,27	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	0
Hexanos (C ₆ H ₁₄)	0,21	Hélio (He)	0
Heptanos (C ₇ H ₁₆)	0,21	Monóxido de Carbono (CO)	0
Octanos (C ₈ H ₁₈)	0,09	Água (H ₂ O)	0

3.2.

Computação de Volume: Medição de Vazão por Pressão Diferencial

De acordo com a API 21.1, a computação de volumes decorrentes da integração de valores de vazão obtidos por medição por placa de orifício segue, em princípio, a equação (17).

$$V_t = \int_{t_0}^t q(t) \cdot dt \quad (17)$$

Onde:

V_t = volume acumulado entre t_0 e t ;

$\int_{t_0}^t$ = integração entre os tempos t_0 e t ;

$q(t)$ = modelo matemático adotado para a vazão em função do tempo;

dt = intervalo de aquisição.

Quando do uso de placas de orifício como fonte para a determinação de volumes, a integração recomendada é aquela da raiz do produto entre a pressão diferencial e a pressão estática (API, 1993), conforme a equação (18). Note-se que o resultado desta integração não tem dimensão de volume.

$$IV = \int_{t_0}^t \sqrt{\Delta P \cdot P_{op}} \cdot dt \quad (18)$$

Onde:

IV = valor acumulado entre t_0 e t ;

$\int_{t_0}^t$ = integração entre os tempos t_0 e t ;

ΔP = pressão diferencial devida à placa de orifício;

P_{op} = pressão estática do processo (em termos absolutos);

dt = intervalo de aquisição.

No entanto, a integração contínua só é possível por intermédio de dispositivos analógicos. Os computadores de vazão, que são dispositivos eletrônicos, obtêm amostras das variáveis de interesse a intervalos definidos para a computação dos volumes: pressão, temperatura, vazão, etc. Portanto, a intervalos regulares, obtém a leitura de um valor de uma variável dentro de pequeno espaço de tempo relativo, repetindo o processo para quantas variáveis forem necessárias. Ao fazê-lo, digitalizam a informação analógica, o que lhes propicia o aproveitamento da capacidade de processamento. Valem-se da chamada teoria da amostragem, que estabelece que para a correta reprodução de um sinal amostrado, este deve sê-lo a uma frequência que seja maior que o dobro

da maior frequência que componha o espectro do sinal (Franklin et al, 1990). A equação (18) pode então ser reescrita na forma da equação (19).

$$IV = \sum_{n=t_0}^t \sqrt{\Delta P_n \cdot P_{op_n}} \cdot \Delta t_n \quad (19)$$

Onde:

ΔP_n = pressão diferencial no intervalo de aquisição Δt_n ;

P_{op_n} = pressão estática absoluta no intervalo de aquisição Δt_n ;

Δt_n = intervalo de aquisição em $t = n$.

Uma outra possibilidade de recebimento de informações de variáveis envolvidas na computação de volumes se dá por meio de redes de comunicação de dados, a taxas que dependerão de suas características, limites e volume de tráfego. Um dado codificado de uma variável (vazão, *e.g.*) pode ser solicitado por um computador de vazão, a intervalos regulares, a um medidor de vazão via uma rede de comunicação à qual ambos estejam conectados, e que garanta ao computador de vazão tal prerrogativa. De toda sorte, independentemente da origem da informação de cada variável esta será, ou já estará, discretizada. Portanto, dentro de um determinado intervalo de tempo, a integração dá-se na verdade como um somatório discreto de pequenos volumes ou quantidades que os representem, não importando a natureza dos equipamentos que traduzem as variáveis de processo em informação. Assim, o efeito prático é que, para o cálculo de volumes por computadores de vazão, ter-se-á sempre uma integração numérica, sendo a diferença em relação à origem da informação de vazão, pressão diferencial ou linear, meramente conceitual.

Por fim, o volume corrigido apurado para o intervalo de tempo determinado como sendo o de integração resultará do produto da quantidade calculada pela equação (18) por um fator que englobará todas as outras variáveis, o qual também não tem dimensão de volume (composto por pressão, temperatura, dados dimensionais e fatores adimensionais). O produto, no entanto, terá. O índice *ref* indica uma condição de temperatura e pressão tomada como sendo de referência.

$$V_{ref(t)} = IMV_t \cdot IV_t \quad (20)$$

Onde:

$V_{ref(t)}$ = volume acumulado ao longo do período de integração t ;

IMV_t = multiplicador para o período de integração t ;

IV_t = quantidade acumulada durante o período de integração t .

A abordagem da equação (20) é válida para o cálculo de volumes tanto a partir de um tipo de medidor quanto de outro. Uma vez calculada uma quantidade que representa um volume não-corrigido para um certo intervalo de tempo, uma operação simples aplicará um fator de correção (muitas vezes denominado "multiplicador") a esta quantidade, permitindo a expressão de um volume em condições de referência (vê-se que o mesmo ocorre para a equação (22)).

3.3.

Computação de Volume: Medição de Vazão por Medição Linear

Uma vez que os medidores lineares entregam aos computadores de vazão informação na forma de pulso ou via rede de dados, esta já traz em sua origem um carácter discreto. Como tal, o equivalente à integração contínua é um somatório discreto de volumes não-corrigidos (em condições de pressão e temperatura do processo) dentro de um intervalo de tempo pré-definido. Não há regras específicas que determinem que tempo será esse, podendo cada fabricante de computador de vazão adotar o intervalo que considerar mais conveniente. No entanto, alguns cuidados devem ser observados em sua escolha, como sua relação com os máximos intervalos de tempo esperados para variações das grandezas envolvidas. Quando variações das grandezas extrapolam determinados limites estabelecidos, esse intervalo pode ser encurtado, de forma a permitir uma melhor representação dos volumes. A equação (21) mostra como a norma recomenda que se dê a computação de volumes decorrentes da integração de valores de vazão obtidos por medição linear (aqui, especificamente, a partir da aquisição em rede de dados).

$$AVQ_t = \sum_{n=t_0}^t q_n \cdot \Delta t \quad (21)$$

Onde:

AVQ_t = volume não-corrigido acumulado no entre t_0 e t ;

q_n = vazão não-corrigida no tempo $t = n$;

Δt = intervalo de aquisição da vazão não-corrigida.

Simultaneamente à integração numérica, o computador de vazão recebe informações de pressão e temperatura. Eventualmente, pode receber outras informações, como densidade, massa específica ou composição do gás. De maneira geral, a taxa de aquisição de todas as variáveis é a mesma, ou as taxas são razoavelmente próximas. Especificamente com relação a temperatura e pressão, estas variáveis são armazenadas ao longo do tempo de integração, e utilizadas para gerar médias que comporão o fator multiplicador quando da correção do volume para condições de referência. O fator contará ainda com uma componente relativa à composição do gás, o fator de compressibilidade. A equação (21) sintetiza o volume corrigido dentro do intervalo de integração.

$$V_{ref(t)} = AVQ_t \cdot BMV_t \quad (22)$$

Onde:

$V_{ref(t)}$ = volume acumulado ao longo do período de integração;

AVQ_t = volume não-corrigido acumulado no período de integração;

BMV_t = multiplicador do período de integração.

A equação (22) é decorrente das relações entre volume, pressão, temperatura e fator de compressibilidade de um mesmo gás a diferentes condições. Estas relações têm como base a equação de estado ("lei") dos gases ideais, conhecida também como equação de Clapeyron. Uma mesma quantidade de substância poderá estar sujeita a diferentes condições. Supondo que não haja perda de massa na mudança de uma condição PVT para outra, não há variação na quantidade de substância observada. Há que considerar, contudo, que o comportamento dos gases reais não é o mesmo do gás ideal; os gases reais estão sujeitos à compressibilidade. O modo prático de compensar tais efeitos é introduzir, na lei dos gases ideais, o fator de compressibilidade, para "corrigir" a constante

universal dos gases. Portanto, para uma mesma quantidade de substância, diferentes condições PVT podem ser relacionadas conforme a equação (23).

$$\frac{V_{ref} \cdot P_{ref}}{Z_{ref} \cdot T_{ref}} = n \cdot R = \frac{V_{op} \cdot P_{op}}{Z_{op} \cdot T_{op}} \quad (23)$$

Onde:

V_{ref} = volume em condições de referência;

P_{ref} = pressão de referência absoluta;

T_{ref} = temperatura de referência absoluta;

Z_{ref} = fator de compressibilidade em condições de referência;

n = quantidade de substância (gás ou mistura de gases);

R = constante universal dos gases;

V_{op} = volume em condições de operação;

P_{op} = pressão de operação absoluta;

T_{op} = temperatura de operação absoluta;

Z_{op} = fator de compressibilidade em condições de operação;

De onde deriva o fator multiplicador. A equação (22) pode então ser reescrita na forma da equação (24). O fator multiplicador (termo à direita na equação 23) é o termo que engloba as componentes de pressão, temperatura e fator de compressibilidade.

$$V_{ref} = V_{op} \cdot \frac{Z_{ref} \cdot P_{op} \cdot T_{ref}}{Z_{op} \cdot P_{ref} \cdot T_{op}} \quad (24)$$